

Загальні питання технологій збагачення

УДК 622.831.325.3:621.643:532.576; 622.7

В.И. КРИВОЩЕКОВ, канд. техн. наук

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет"),

Л.А. НОВИКОВ

(Украина, Днепропетровск, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. На обогатительных фабриках вентиляционные системы используются для вентиляции, аспирации, дутья в сушилках; в пневмотранспортных установках и процессах обогащения. Подача воздуха в производственные помещения при приточной вентиляции и удаления загрязненного воздуха при вытяжной или аспирационной вентиляции производится по системе воздуховодов. Пневматический транспорт применяют для перемещения концентратов руд различных металлов в виде аэросмесей, погрузки и разгрузки сыпучих пылевидных материалов, удаления пыли.

В зависимости от протяженности пневмопровода для работы установок всасывающего типа необходимо разряжение до 0,05 МПа, а для работы установок нагнетательного типа – избыточное давление 0,05 – 0,7 МПа.

При работе подземных и наземных газотранспортных систем снижение их эффективности, как правило, связано с нарушением герметичности фланцевых соединений труб, образованием местных и распределенных отложений (продукты коррозии, скопления жидкости, пыли, газовые гидраты). В результате происходит увеличение потерь давления газовой смеси, что неблагоприятно сказывается на работе насосного оборудования и снижает эффективность транспортировки энергоносителя. Данные закономерности характерны для вентиляционных систем в условиях обогатительных фабрик.

Анализ исследований и публикаций. Гидродинамические особенности движения газовой смеси по трубопроводу низкого давления оказывают влияние на эффективность ее транспортировки. Несмотря на учет таких параметров как влажность, теплообмен и концентрация газовых примесей, характер протекания газодинамических процессов не в полной мере исследован [1]. Так, например, существующие зависимости для коэффициентов потерь на трение ограничены тем или иным диапазоном чисел Рейнольдса [2] и могут давать заметные погрешности при неустойчивой структуре течения. В частности при образовании локальных скоплений влаги и пыли на горизонтальных и заниженных участках трубопровода, а также при пленочном нисходящем течении жидкости возникает необходимость в дополнительном учете межфазных взаимодействий.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование закономерностей изменения потерь давления в трубопроводе низкого давления.

Изложение материала и результаты. Рассмотрим движение газовой смеси
Збагачення корисних копалин, 2016. – Вип. 64(105)

си по негерметичному трубопроводу (рис. 1)

Характер изменения объемного расхода и концентрации, например, метана по длине трубопровода можно представить в виде:

$$Q \approx Q_0 + x\Delta Q_y; \quad (1)$$

$$c = JQ^{-1}, \quad (2)$$

где $x = 0 \div L$ – текущее расстояние, отсчитываемое от начального сечения трубопровода, м; ΔQ_y – удельные притечки воздуха, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$; $J = \text{const}$ – дебит метана, $\text{м}^3/\text{с}$.

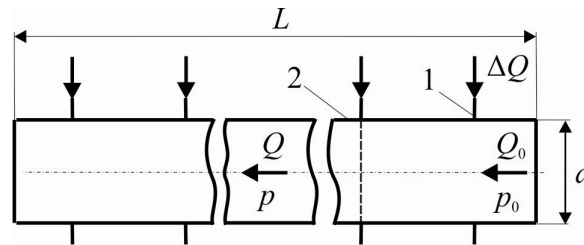


Рис. 1 – Схема движения газовой смеси по трубопроводу низкого давления:

1 – фланцевые соединения труб; 2 – трубопровод; L , d – длина и внутренний диаметр трубопровода, соответственно, м; ΔQ – притечки воздуха $\text{м}^3/\text{с}$; Q_0 , Q – объемные расходы газовой смеси, соответственно начальный и текущий, $\text{м}^3/\text{с}$; p_0 , p – абсолютные давления газовой смеси, соответственно начальное и текущее, Па

Для текущей величины абсолютного давления в трубопроводе можно записать [1]

$$p = \sqrt{p_0^2 - 2p_0\Delta p} = \sqrt{p_0^2 - 2p_0 \frac{\rho Q^2 \lambda L}{2S^2 d}}, \quad (3)$$

где Δp – потери давления на трение, Па; ρ – средняя плотность газовой смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; d – гидравлический диаметр трубопровода, м; S – площадь проходного сечения трубопровода, м^2 ; λ – коэффициент Дарси [3, 4]

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} + \frac{68S\mu}{dQ\rho} \right)^{0,25}, \quad (4)$$

где Δ_s – абсолютная эквивалентная шероховатость, м; Re – число Рейнольдса; μ – динамическая вязкость газовой смеси, Па·с.

Величина параметра Δ_s зависит от степени загрязненности трубопровода распределенными отложениями. Так, для труб с длительным периодом эксплуатации можно принять $\Delta_s = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м, а в случае образования распределенных отложений – $\Delta_s = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м и более.

Процессы конденсации влаги на внутренней поверхности трубопровода уменьшают шероховатость его стенок. Это связано с тем, что некоторые выступы шероховатости частично (или полностью) закрываются водяной пленкой. В связи с этим примем $\Delta_s \approx 0,05 \cdot 10^{-3}$ м.

Газовая смесь в трубопроводе, как правило, содержит газообразную, жидкую (водяной пар) и твердую (частицы пыли) дисперсные фазы. Для определения плотности [5] и динамической вязкости [6] "влажной" газовой смеси можно воспользоваться соотношениями:

$$\rho = 36,53 c^{-0,33} p^{0,89} T^{2,49}, \quad (5)$$

$$\mu = \frac{y_m M_m + y_v M_v + y_{\Pi} M_{\Pi}}{\frac{y_m M_m}{\mu_m} + \frac{y_v M_v}{\mu_v} + \frac{y_{\Pi} M_{\Pi}}{\mu_{\Pi}}}; \quad (6)$$

где T – температура газовой смеси, К; y_m, y_v, y_{Π} – объемные доли соответственно метана, воздуха и водяного пара, д.е.; M_m, M_v, M_{Π} – молярные массы соответственно метана, воздуха и водяного пара, кг/моль; μ_m, μ_v, μ_{Π} – динамические вязкости соответственно метана, воздуха и водяного пара, Па·с.

На рис. 2 представлены результаты расчета абсолютного давления газовой смеси (воздуха и метана) в трубопроводе низкого давления с гидравлическим диаметром $d = 0,309$ м и длиной $L = 900$ м (в условиях шахты), полученные по формуле (3)

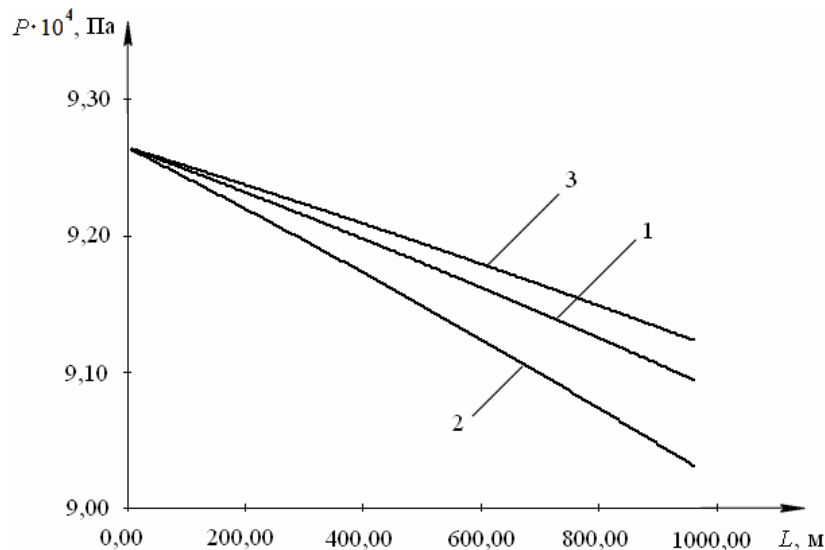


Рис. 2. Изменение абсолютного давления газовой смеси по длине трубопровода низкого давления при различных значениях абсолютной эквивалентной шероховатости:
1 – $\Delta_s = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м; 2 – $\Delta_s = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – $\Delta_s = 0,05 \cdot 10^{-3}$ м

Из рис. 2 видно, что при увеличении шероховатости стенок трубопровода возрастают потери на трение и происходит все более выраженное снижение абсолютного давления газовой смеси. Этому также способствует увеличение объемного расхода, плотности и динамической вязкости газовой смеси за счет притечек воздуха. Кроме того из рис. 2 следует, что в случае конденсации влаги на стенках трубопровода (водяная пленка) потери давления уменьшаются, а функциональная зависимость $p = f(L)$ практически принимает линейный характер.

Выводы и направления дальнейших исследований:

- потери на трение в трубопроводе низкого давления прямо пропорциональны шероховатости его стенок, объемному расходу и плотности газовой смеси. При этом между потерями на трение и текущей величиной концентрации метана наблюдается обратная зависимость;
- процессы поверхностной конденсации в дегазационном трубопроводе уменьшают шероховатость его стенок. При этом функциональная зависимость $p = f(L)$ принимает все более выраженный линейный характер.

Дальнейшие исследования авторов будут направлены на исследование влияния гидродинамики межфазных взаимодействий.

Список литературы

1. Новиков Л.А. Определение потерь давления на загрязненных участках вакуумного дегазационного трубопровода // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. – С. 258-263.
2. Новиков Л.А. Влияние дисперсной фазы на гидравлическое сопротивление участков дегазационных трубопроводов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 114. – С. 154-161.
3. Кривошеков В.И., Новиков Л.А. Влияние дисперсности среды на потери давления в пневмосепараторе // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 52(93). – С. 63-70.
4. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем / Под ред. А.С. Юрьева. – С.-Пб: АНО НПО "Мир и семья", 2001. – 1154 с.
5. Муха О.А. Розрахунок параметрів дегазаційних систем: Монографія. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – 182 с.
6. Малашкина В.А., Вострикова Н.А. Особенности транспортирования метановоздушной смеси в подземных дегазационных трубопроводах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – №8. – С. 3-12.

© Кривошеков В.И., Новиков Л.А., 2016

*Надійшла до редколегії 08.06.2016 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець*